

地下水観測井戸用塩化ビニル管からの鉛の溶出

下寄かえで¹・小口文子¹・鹿角孝男¹・石原祐治¹

廃棄物最終処分場観測井戸に使用される塩ビ管からの鉛溶出の実態を地下水接触試験により検討した。その結果、水道用塩ビ管には鉛が殆ど含まれず溶出しませんが、一般用塩ビ管には数千 mg/kg の鉛が含まれ、高濃度の溶出がみられた。次に、地下水中の鉛の由来を明らかにするため、塩ビ管、地下水及び周辺土壌等の鉛同位体比を測定したところ、塩ビ管と土壌の鉛同位体比には差が見られ、地下水中の鉛の発生源を推定できる可能性があることがわかった。

キーワード；地下水，塩ビ管，鉛溶出，鉛同位体比

1. はじめに

廃棄物適正処理の確保のため、廃棄物最終処分場については立ち入り検査とともに、浸出水、浸透水、放流水及び地下水等の水質検査が行われている。これらの検査のうち、地下水については処分場周辺地下水質への影響の有無を判断できる2ヶ所以上の観測井戸を設けることとされている¹⁾。

当所では毎年処分場関係の水質検査を実施しており、地下水から鉛が検出された事例が過去に数例あったが、処分場と観測井戸との位置関係から、鉛の由来は埋立物以外の要因によると思われるケースが過半数を占めていた。そこで処分場の地下水観測井戸の材質に着目したところ、硬質ポリ塩化ビニル管(以下、塩ビ管と略記)が使用されているケースが多かった。これらの塩ビ管の多くは安定剤として鉛化合物が含まれていることから、そこからの鉛溶出が問題とされている^{2) 3)}。

本研究では、塩ビ管から地下水への鉛の溶出について明らかにするために、市販の塩ビ管の鉛含有量の測定を行った後、地下水と塩ビ管が長期に接触した場合の鉛溶出挙動について、鉛含有量の異なる塩ビ管を用いて検討を行った。また、鉛の由来を明らかにするために、塩ビ管や鉛が検出された処分場観測井戸の地下水、井戸に使用されている塩ビ管、井戸底の泥及び周辺土壌の鉛について、同位体比(²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb, ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb)の測定を行った。これら

の鉛同位体比の比較を行い、鉛発生源の識別について検討した。

2. 塩ビ管の鉛含有量測定

測定用の試料には、長野市内の家庭用品量販店で購入したものや当所の配管工事等で使用されていたものなど、メーカーや規格の異なる4種類・13検体の塩ビ管を準備した。これらのうち3種類の塩ビ管の規格はJIS-K6741(一般用), K6742(水道用), K6776(給湯用)であったが、ダクトに使用されていた塩ビ管の規格は不明であった。またメーカーは7社であった。

各試料はノコギリで長さ5cm程度の輪状に切断し、切断面を紙ヤスリ(600番)を用いて研磨し、エネルギー分散型蛍光X線分析装置(HORIBA製, XGT-1000WR)を用いて検量線法により鉛含有量を測定した。結果を表1に示す。

表1 塩ビ管の種類と鉛含有量

規格	種類	本数	内径(mm)	厚さ(mm)	含有量(平均値)(mg/kg)
K6742	水道用	3	20~51	3~4.5	12~20(16)
K6776	給湯用	1	50	5	11
K6741	一般用	7	44~83	2~4.4	4000~7300(5800)
-	ダクト用	2	160	2.5~3	3800~5600(4700)

水道用及び給湯用塩ビ管の鉛含有量(平均値)はそれぞれ16mg/kg, 11mg/kgと低い値であったが、一般用は5800mg/kg, ダクト用は4700mg/kgとそれぞれ高濃度の鉛が含まれていた。これらの結果を

1 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

踏まえ、次の地下水接触試験では鉛含有量が大きく異なる2種類の塩ビ管を用いることとし、実際に処分場の観測井戸に使用されているものに近い寸法(内径、厚さ)の水道用と一般用を用いて試験を行った。

3. 地下水接触試験及び鉛同位体比測定の実験方法

3.1 塩ビ管の地下水接触試験の方法

地下水接触試験には、表2に示す同一メーカー製の水道用(A)と一般用(B,C)の2種類の塩ビ管を用いた。なお、一般用(B,C)は内径及び厚さの異なる2検体を用いた。塩ビ管は電動カッターで約1mの長さで切断し、内壁に付着した埃や切屑を除くために、水道水で濡らした柔らかい木綿布を管内で往復させて洗浄し、水道水及びイオン交換水の順に十分なすすぎを行った。続いて塩ビ管の一端の封印を次のように行った。鉛が溶出しやすい切断面と注入する地下水とが接触しないよう、テフロンシートで覆ったシリコン栓で封をして、その上から針金と粘着テープで固定し水が漏れないよう補強した。以上の装置をA～Cについて各4本組み立てた。

表2 接触試験に使用した塩ビ管

試料	A	B	C
種類	水道用	一般用	一般用
内径(mm)	51	51	56
厚さ(mm)	4.5	4.4	2.0
1本の重量(g)	1030	1090	500
外見	紺	グレー	グレー
鉛含有量(mg/kg)	15	6000	6400

表3 接触試験に使用した地下水の水質

項目	試験①	試験②	試験③
水温(°C)	13.7	13.8	13.6
EC(ms/m)	26.0	33.6	25.2
pH	6.95	6.94	6.77
鉛濃度(μ g/L)	<1	<1	<1

接触試験の溶媒は、実際の処分場により近い条件での試験を行うため、安定した水質の地下水が得られる長野市内の浄水場の深井戸から採水したものをを用いた。これらの地下水の水質を表3に示す。塩ビ管内に注入する水量については、内径が異なる塩ビ管であっても、水と塩ビ部分との接触面積(0.14m²)が同じになって、溶出量を同等に評価できるように水量を調整(1790～1970mL)した。

また、水温は処分場の調査で測定した地下水の平均水温が約15°Cであったことから、装置を15°Cに温度設定した恒温槽内に設置した。恒温槽内には温

度記録計を設置し、庫内が約15°Cに保たれていることを確認した。装置の上部は地下水が蒸発しないようポリエチレンフィルムで覆い、採水時には装置の重量を測定し、装置下部からの漏れや蒸発が無いことを確認した。

3.2 鉛濃度の測定

各4本の装置のうち、2本は新鮮な地下水と2回交換し3回の試験(試験①②③)を行った。残りの2本は試験期間を通じ地下水の交換を行わなかった(試験④)。地下水接触試験の概要を表4に示す。

表4 地下水接触試験の概要

	地下水交換	開始	終了	試験開始からの採水状況
試験①		7/2	8/6	7,14,21,28,35日目
試験②	交換	8/9	10/8	1,2,3,4,5,7,14,21,28,60日目
試験③	交換	10/8	12/17	7,14,21,28,35,70日目
試験④	交換なし	7/2	12/17	7,14,21,28,35,59,98,168日目

鉛濃度測定用の試料は採水量が試験に影響しない程度の少量に設定し、毎回2mLずつ管内の地下水を採取し、0.6%硝酸酸性とし、ICP質量分析装置(Agilent製:7700X)で鉛濃度を測定した。

3.3 鉛同位体比の測定

鉛同位体比の測定は地下水から鉛が検出された3ヶ所の最終処分場を対象にした。これらの観測井戸はいずれも埋立地の土流側に設置されており、浸出水や浸透水の影響を受けにくい位置にあった。土壌中の鉛が地下水中に溶出する可能性がある為、観測井戸周辺表層土壌を1箇所採取し同様に測定した。周辺土壌が採取できない処分場では、井戸底の泥を採取した。

塩ビ管は観測井戸の管壁外側をノミで少量削り取ったものを試料とし、約0.2gに硝酸4mLを加えて加熱分解後ろ過し、試料溶液とした。この方法では鉛の全量を抽出することはできないが、高濃度の溶液が得られた。地下水は試料50mLに硝酸2mLを加えて加熱分解し試料溶液とした。土壌は試料約0.6gに硝酸を加えてマイクロウェーブ分解後ろ過し、試料溶液とした。井戸底の泥は約5gを硝酸一過塩素酸分解後、鉛を溶媒抽出し、溶媒蒸発乾燥後に酸分解し、試料溶液とした。2で鉛含有量を測定した塩ビ管の一部及び地下水接触試験に用いた塩ビ管についても、観測井戸の塩ビ管と同様に測定を行った。

鉛同位体比は中込ら⁴⁾の方法により、ICP質量分析装置(HP4500及びAgilent7700X)を用い、試料溶液の鉛濃度を約10 $\mu\text{g/L}$ に希釈したものについて、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb及び²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pbの測定を行った。測定ポイントは1質量当たり3点、積分時間は1ポイント当たり1.5~2秒、測定回数は1質量当たり5回とした。試料溶液の鉛濃度が1 $\mu\text{g/L}$ 以下の試料は濃縮操作を行わず、そのまま測定した。鉛同位体標準試料としてNIST製SRM981を用い、1試料おきに標準試料を測定して補正を行った。1試料につき3~5回繰り返し測定したCV(%)は0.2~0.4であった。

4. 結果と考察

4.1 塩ビ管の地下水接触試験結果

図1に接触試験による鉛溶出濃度の変化を示す。鉛を殆ど含まない水道用の塩ビ管Aからの鉛溶出濃度は試験①~④のいずれも1 $\mu\text{g/L}$ 以下であり、ほとんど溶出が見られなかった。一方、高濃度の鉛を含む一般用の塩ビ管B、Cからの鉛溶出濃度は、試験初期に250~280 $\mu\text{g/L}$ の高濃度の溶出が見られ、水道用と一般用では鉛の溶出特性に著しい違いが認められた。

塩ビ管B、Cの試験①②③の鉛溶出濃度の経日変化はよく似た変化を示した。塩ビ管BとCは材質がほぼ同じで管の厚さのみが異なっており、鉛の溶出特性は塩ビ管の厚さによる差が見られなかった。図2に試験①②③の開始7日後における塩ビ管の地下水接触面積当たりの鉛溶出量($\mu\text{g}/\text{m}^2$)を示す。鉛の溶出が見られた塩ビ管B、Cの溶出量は、それぞれB:3100~690 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 、C:3800~800 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。BとCでは管の厚さがそれぞれ4.4mm及び2.0mmと異なり、地下水接触部分の塩ビ管全体に含まれる鉛の量(μg)を算出すると、B:

5800 μg 、C:2600 μg となるが、接触面積当たりの溶出量に大きな差はなかった。以上から試験結果の評価はBとCをまとめて扱うこととし、溶出特性について両者の平均値を用いて検討した。

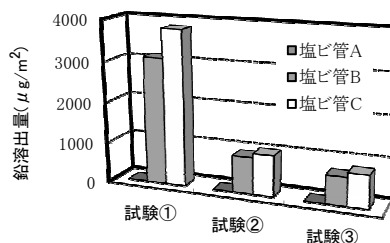


図2 接触面積当たりの鉛溶出量

試験①の鉛濃度の平均値は、7日後に260 $\mu\text{g/L}$ と高濃度の溶出が見られ、その後日数の経過とともに濃度は減少して28日後に140 $\mu\text{g/L}$ となり、35日後に150 $\mu\text{g/L}$ となった。このような濃度変化から、試験①では溶解性の高い鉛が溶出しており、濃度変化が大きかった。しかしその後は試験④のとおりに濃度変化が少なく、59日後から168日後にかけては140~150 $\mu\text{g/L}$ とほぼ横ばいであった。

試験②では試験①よりも全体の溶出濃度が減少し、また溶出パターンも日数の経過と共に増加するパターンに変化した。1日後に49 $\mu\text{g/L}$ の溶出が見られ、7日後に73 $\mu\text{g/L}$ 、28日後に92 $\mu\text{g/L}$ 、60日後に97 $\mu\text{g/L}$ となった。溶出した鉛の濃度変化は試験①に比べて小さかった。

試験③では試験②と同様なパターンを示し、7日後に56 $\mu\text{g/L}$ 、28日後に64 $\mu\text{g/L}$ 、70日後に66 $\mu\text{g/L}$ とほぼ横ばいとなった。また、試験③では試験②よりも7日後以降の溶出濃度の上昇はさらに緩やかであった。このように低濃度で長期間安定に存在する鉛の存在が確認されたことで、実際の地下水でも塩ビ管由来の鉛がその水質に影響を与えている可能性が示唆された。

試験①と試験②③で溶出パターンに変化が見られ

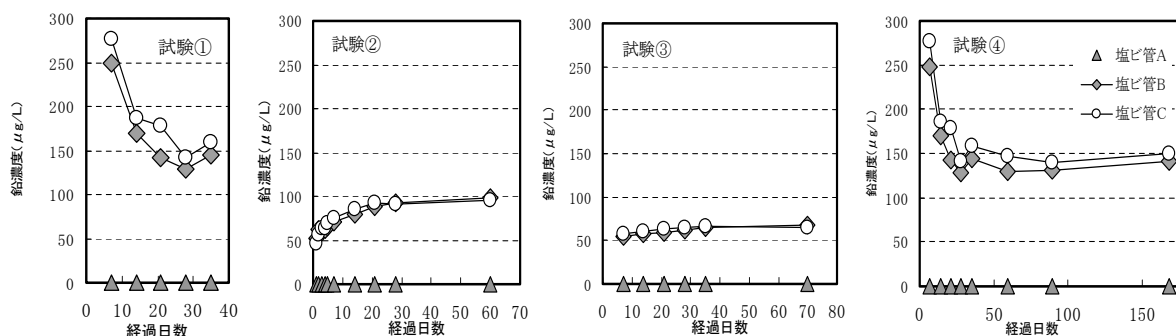


図1 塩ビ管からの鉛溶出濃度の変化(試験①~④)

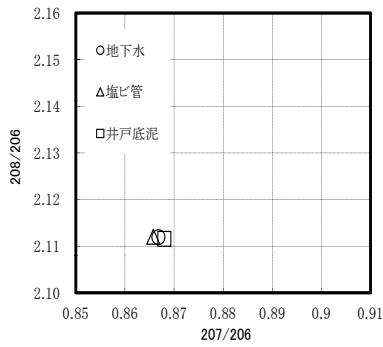


図3 D処分場 鉛同位体比

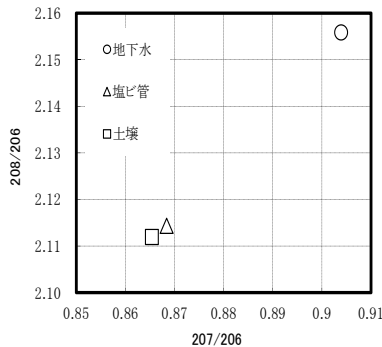


図4 E処分場 鉛同位体比

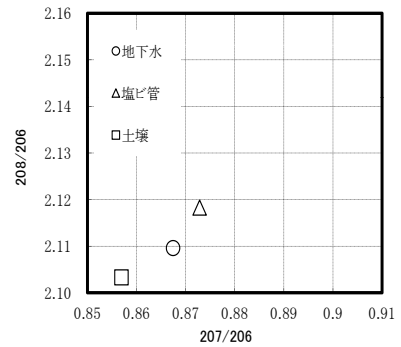


図5 F処分場 鉛同位体比

たことについては今後の検討課題である。

4.2 鉛同位体比の測定結果

表5に鉛同位体比測定試料の鉛濃度を、表6に最終処分場実態調査における地下水中鉛濃度の経年変化を示す。D, E, F最終処分場の地下水等の鉛同位体比 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) 測定結果を図3～5に示す。

表5 同位体比測定試料の鉛濃度

処分場	地下水 ($\mu\text{g/L}$)	周辺土壌 (mg/kg)	井戸底泥 (mg/kg)	塩ビ管 (mg/kg) [*]
D	11		42	4000
E	23	31		200
F	17	4.7		500

*: 硝酸分解溶液から換算した濃度

表6 地下水鉛濃度の経年変化 ($\mu\text{g/L}$)

処分場	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	井戸の深さ (m)	井戸設置年
D						34	11		7	11	H13
E	<5	15	<5	<5	<5	6	23	<5	<5	40	H12
F						17		<5		12	H16

D処分場の地下水観測井戸には一般用塩ビ管が使われていた。鉛同位体比測定用の井戸周辺の土壌は草が繁茂し採取できなかったため、井戸底に溜まった泥を採水器で採取した。これらの鉛同位体比は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が 0.86～0.87, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が 2.11～2.12 の範囲にあり、試料間に差は見られず、地下水の鉛と塩ビ管の鉛同位体比が一致したことから、地下水中の鉛は塩ビ管に由来する可能性が示唆された。また当該井戸は11メートルと浅いが、地下水の貯水量は底から10メートルと多いため、塩ビ管との接触時間が長いと推察される。この井戸に使われている塩ビ管は鉛濃度が4000mg/kgと高く、地下水に影響するとともに、溶出した鉛が井戸底の泥に吸着されている可能性が考えられた。

E処分場は処分場調査で地下水から複数回鉛が検出される一方、不検出の年が続くような変動がみら

れた。使われている塩ビ管の種類は不明であったが、鉛同位体比は地下水の値が塩ビ管及び周辺表層土壌の値と比較して $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 共に明らかに高い値であることから、地下水中の鉛の由来は塩ビ管以外によるものと推察された。当該観測井戸は40メートルと深いため井戸底の泥や深層土壌は採取できなかったことから、土壌による地下水中の鉛への影響は不明である。

F処分場の鉛同位体比は地下水中の鉛同位体比が塩ビ管と土壌の中間に位置し、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 共に±0.01以内の狭い範囲にあることから、塩ビ管と土壌の両方の影響を受けている可能性があるかと推察された。

図6に鉛含有量測定を行った塩ビ管の一部、地下水接触試験に使用した塩ビ管及びD, E, F処分場の観測井戸の塩ビ管の鉛同位体比測定結果をまとめて示す。地下水接触試験に使用した塩ビ管は同一メーカー製であり、鉛同位体比は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が 0.87, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が 2.11 とほぼ同じ値であった。測定した塩ビ管の鉛同位体比は $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が 0.85～0.89, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が 2.11～2.14 とやや広い範囲に分布していた。これらの結果から最終処分場の地下水、塩ビ管、及び塩ビ管周辺土壌等の鉛同位体比をそれぞれ測定することにより、地下水中の鉛の由来を解明できる可能性がある。

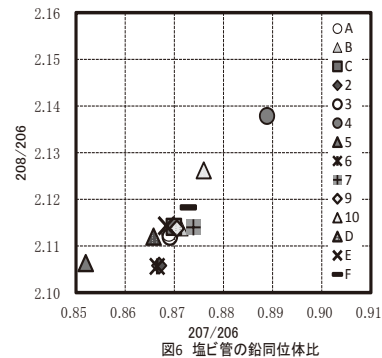


図6 塩ビ管の鉛同位体比

5. まとめ

- (1) 水道用及び給湯用の塩ビ管の鉛含有量平均値はそれぞれ 16mg/kg, 11mg/kg と低い値であったが、一般用は 5800mg/kg と高濃度の鉛が含まれていた。
- (2) 地下水接触試験の結果、水道用塩ビ管からの鉛溶出は殆ど見られなかったが、一般用塩ビ管からは初回 140 ~ 260 μ g/L, 2 回目 49 ~ 97 μ g/L, 3 回目 56 ~ 66 μ g/L の溶出が見られた。
- (3) 地下水の交換により、塩ビ管からの鉛溶出濃度が低下し、溶出濃度の上昇が緩やかになったが、溶出した鉛は長期間地下水中に存在することが確認された。
- (4) 3ヶ所の処分場の地下水、塩ビ管、土壌等の鉛同位体比を測定し、地下水中の鉛の発生源解析を試みた。D 処分場の地下水中の鉛は塩ビ管由来である可能性が示唆された。

文 献

- 1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課長 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物対策課長通知 (平成 18 年 9 月 4 日付け環廃対発第 060904002 号・環廃産第 060904004 号)「廃棄物処理施設生活環境影響調査指針」
- 2) 大悟法弘充・山本勇・檜山知代 (2004) 土壌・地下水汚染調査および対策に使用する井戸材質からの鉛の溶出, 資源環境対策, 40(12): 112-116.
- 3) 細井要一・笹井春雄・篠原邦和・小口文子・岩松巳佳子 (2002) 硬質塩化ビニル管からの鉛の溶出について, 第 29 回長野県環境科学研究発表会要旨集: 19-20.
- 4) 中込和徳・鹿角孝男・川村實・野中卓・向井人史・村野健太郎 (2005) 誘導結合プラズマ質量分析法による降水中鉛安定同位体比の測定条件の検討, 全国環境研会誌, 30: 227-232.

Lead elution from the polyvinyl chloride pipe for groundwater observation well

Kaede SHIMOZAKI¹, Fumiko OGUCHI¹, Takao KATSUNO¹, Yuji ISHIHARA¹

¹ Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan